

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-294750

(43)公開日 平成6年(1994)10月21日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 1 N 21/88

H 0 1 L 21/66

識別記号

E 8304-2 J

J 7630-4M

C 7630-4M

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数41 O L (全 16 頁)

(21)出願番号 特願平4-224325

(22)出願日 平成4年(1992)8月24日

(31)優先権主張番号 7 4 8 9 8 4

(32)優先日 1991年8月22日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 593099528

ケーエルエー・インストルメンツ・コーポ  
レーション

KLA INSTRUMENTS COR  
PORATION

アメリカ合衆国、カリフォルニア州

95161 - 9055、サン・ホセ、ピー・オ  
ー・ボックス 49055、リオ・ローブルズ  
160

(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

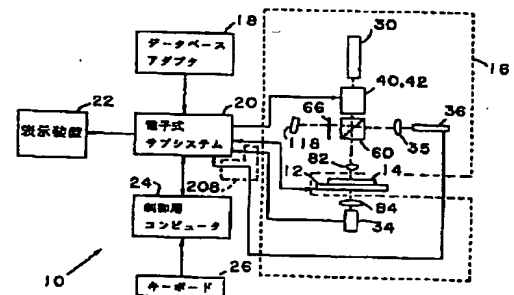
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学式基板検査装置

(57)【要約】

【目的】 基板の欠陥や線幅を透過光及び反射光の少なくとも一方で自動的に検査・測定する自動基板検査装置を提供すること。

【構成】 X Yステージと、光学系と、電子制御解析表示系とを備えており、X Yステージにより検査対象である基板がX Y平面上を蛇行移動し、光学系はレーザと、透過光検出器と、反射光検出器と、レーザ、基板、両検出器の間に基準光の光路及び照射光の光路を形成する光学素子群と、反射光及び基準光の両光線で基板を往復走査する音響光学的光線スキャナとを備えており、電子制御解析表示系はX Yステージ及び光学系の動作を制御し、両検出器の出力信号を解析及び記憶し、ダイ同士の比較モード及びダイとデータベースとの比較モードのいずれかで動作する自動基板検査装置。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 フォトマスク及び半導体ウエハのごとき基板を検査する光学式基板検査装置において、検査面の中で所定のパスに沿って検査基板を保持するステージ手段と；画素の照明を行う光束を送り出すレーザ手段と；上記検査面と交わり且つそれに沿って上記光束が通過する第1の光軸を規定する光学手段であり、上記光束を検査基板上の画素に、1回当たり1画素づつ、焦点を結ぶように作動する光学手段と；上記第1の光軸に沿って配置され、上記第1の光軸の両側を往復振動する形で、上記所定のパスに対して実質的に横方向に上記光束を偏向させ、検査基板の検査区域を隣接した掃引帯で走査する光束偏向手段と；検査基板上の照明された画素によって生ずる上記光束の強度の変化を検出し、これに該当する走査信号を送り出すように作動する光検出手段と；上記走査信号を対応する基準信号と比較し、その間の実質的差異が検査基板の欠陥を同定するごとくに用いられる電子的手段と；を含む、光学式基板検査装置。

【請求項2】 上記ステージ手段が2自由度以下で動くように制限されており、又、電気的手段によって発せられるx方向及びy方向の入力によって駆動される、請求項1記載の装置。

【請求項3】 上記ステージ手段が、空気軸受け手段によって分離されたステータとスライダとを含むリニヤモーターによって駆動されるX/Y空気軸受けステージであり、上記ステータが各スライダの空気軸受けを少なくとも2方向に動くように設置している、請求項2記載の装置。

【請求項4】 上記レーザ手段が、後にウエハ処理の間に検査基板と共同して使用される光源と実質的に等しい波長を持つように選択されている、請求項1記載の装置。

【請求項5】 上記光学手段が、上記光束の偏向の方向を上記所定のパスに対して好ましい関係を持つように回転させる手段を含む、請求項1記載の装置。

【請求項6】 又、上記光学手段が、上記光束が通過する第2の光軸を規定し、その一部が上記第1の光軸の一部と共通であるごとくにする手段を含み、上記第1及び第2の光軸の光路長が実質的に同じで、これにより、これら2つの軸が実質的に同等の熱変化を経験し、又、上記第2の光軸が、光束を上記第2の光軸に沿い、上記光検出手段に向けて反射させて、これを上記第1の光軸に沿い検査中の基板から反射する光と干渉比較を行うための、傾いた鏡を含む、請求項1記載の装置。

【請求項7】 上記光検出手段が、上記基板から反射した光の強度を検出し、第1の走査信号を発する第1の検出器を含む、請求項1記載の装置。

【請求項8】 上記光検出手段が、更に、検査中の基板を通過する上記光束からの光の強度を検出し、第2の走査信号を発する第2の検出器を含む、請求項7記載の装

2

置。

【請求項9】 上記電子的手段が、上記第1及び第2の走査信号を第1及び第2の基準信号と比較し、遭遇した欠陥の存在及びその型を決定する、請求項8記載の装置。

【請求項10】 上記光検出手段が、検査中の基板を通過する上記光束の光の強度を検出し、それに相当する走査信号を発する透過光検出器を含む、請求項1記載の装置。

10 【請求項11】 上記光検出手段が、上記光束の強度をモニターし、上記電子的手段が使用する出力を出し、上記走査信号に対して光束強度の変化修正を行う手段を含む、請求項1記載の装置。

【請求項12】 上記光束偏向手段が、上記光束を比較的小いさな角度範囲で前後に偏向させる音響光学的変調器を含み、この場合、上記角度が各走査列の幅を決定する因子である、請求項1記載の装置。

20 【請求項13】 更に、検査中の基板に対応する理想データを含むデータベース手段を持ち、上記データが選択的に読み取られ、上記基準信号を発する、請求項1記載の装置。

【請求項14】 更に、上記走査信号を記憶する手段を持ち、この記憶された信号が、走査中の信号と比較される上記基準信号を与えるために順次用いられる、請求項1記載の装置。

30 【請求項15】 上記光検出手段が、検査中の基板を透過した光を検出する第1の検出器と、検査中の基板から反射した光を検出する第2の検出器と、を含み、上記第1及び第2の検出器が、それぞれ、第1及び第2の信号を出し、これによって、上記電子的手段が欠陥の存在及び検出した欠陥の型を共に決定することの出来る、請求項1記載の装置。

【請求項16】 更に、上記第1の光軸と交わる第2の光軸に沿って配置され、検査中の基板から反射される光と干渉する光束を発する手段を含み、これにより、上記光検出手段によって検出した干渉光の強度を、上記電子的手段を使用して、検査した表面材料の高さの変化を決定するようにする、請求項1記載の装置。

40 【請求項17】 上記第1の光軸と交わる自動焦点合わせに関わる光軸を定義する部分を備え、該自動焦点合わせに関わる光軸が検査基板試料表面から反射して入射してくる通過光束に非点収差変調効果をもたらすように配備され、且つ、上記非点収差変調された光線の形状を測定して自動焦点合わせを確認し、そしてそれをもって系が焦点外れの場合はその数値を定量的に決定し、この数値情報から焦点合致のための電気信号を発生せしめ、この電気信号を該電子制御系に入力することを特徴とする請求項1に記載の装置。

50 【請求項18】 該自動焦点合わせ装置の光軸を互いに直角となるように2本の枝に分岐し、一方の枝には1つ

3

の非点収差変調部を導入し、又他方の枝には他の1つの非点収差変調部を導入し、非点収差変調素子が変調効果をもたらすことにより、通過光が変調の結果として形状が変わることをうけて、各光束は各々画像形状検出器にて測定することにより該各光束が焦点合致状態にあるか否かを決め、この場合もし焦点が合っていないと認めたときは、その定量的数値及びその方向を決定し、この数値及び方向情報から焦点合致のための電気信号を発生せしめ、この電気信号を該電子制御系に入力することを特徴とする請求項17に記載の装置。

【請求項19】 上記画像形状検出器が適切な方向に向けられた四分割複合型検出手段である、請求項18記載の装置。

【請求項20】 上記電子的手段が、検査中の基板の表面上の所定の格子点に対応する上記走査信号の大きさを測定し、次に、この測定値を用いて、基板形状の表面寸法を決定する、請求項1記載の装置。

【請求項21】 上記光検出手段が、検査中の基板から反射された光の強度を検出して、これに比例した第1の走査信号を発する第1の検出器を含む、請求項14記載の装置。

【請求項22】 上記光検出手段が、更に、検査中の基板を通過する上記光束からの光の強度を検出して、これに比例した第2の走査信号を発する第2の検出器を含む、請求項21記載の装置。

【請求項23】 上記電子的手段が上記第1及び第2の走査信号を、対応する第1及び第2の基準信号と比較し、出会った欠陥の存在とその型とを共に決定する、請求項22記載の装置。

【請求項24】 上記光検出手段が、上記光束の強度をモニターし、上記電子的手段によって使用出来る出力を出し、上記走査信号の光束強度変化修正を行う手段を含む、請求項23記載の装置。

【請求項25】 上記第1の光軸と交わる自動焦点合わせに関わる光軸を定義する部分を備え、該自動焦点合わせに関わる光軸が検査基板試料表面から反射して入射してくる通過光束に非点収差変調効果をもたらすように配備され、且つ、上記非点収差変調された光線の形状を測定して自動焦点合わせを確認し、そしてそれをもって系が焦点外れの場合はその数値を定量的に決定し、この数値情報から焦点合致のための電気信号を発生せしめ、この電気信号を該電子制御系に入力することを特徴とする請求項24に記載の装置。

【請求項26】 該自動焦点合わせ装置の光軸を互いに直角となるように2本の枝に分岐し、一方の枝には1つの非点収差変調部を導入し、又他方の枝には他の1つの非点収差変調部を導入し、非点収差変調素子が変調効果をもたらすことにより、通過光が変調の結果として形状が変わることをうけて、各光束は各々画像形状検出器にて測定することにより該各光束が焦点合致状態にあるか

4

否かを決め、この場合もし焦点が合っていないと認めたときは、その定量的数値及びその方向を決定し、この数値及び方向情報から焦点合致のための電気信号を発生せしめ、この電気信号を該電子制御系に入力することを特徴とする請求項25に記載の装置。

【請求項27】 上記画像形状検出器が適切な方向に向けられた四分割複合型検出手段である、請求項26記載の装置。

【請求項28】 上記電子的手段が、検査中の基板の表面上の所定の格子点に対応する上記走査信号の大きさを測定し、次に、この測定値を用いて、基板形状の表面寸法を決定する、請求項27記載の装置。

【請求項29】 上記ステージ手段が、空気軸受け手段によって分離されたステータとスライダとを含むリニヤーマーターによって駆動されるX/Y空気軸受けステージであり、上記ステータが各スライダの空気軸受けを少なくとも2方向に動くように設置している、請求項28記載の装置。

【請求項30】 上記光学手段が、上記光束の偏向の方向を上記所定のパスに対して好ましい関係を持つように回転させる手段を含む、請求項29記載の装置。

【請求項31】 上記光検出手段が、上記基板から反射した光の強度を検出し、これに比例した第1の走査信号を発する第1の検出器を含む、請求項13記載の装置。

【請求項32】 上記光検出手段が、更に、検査中の基板を通過する上記光束からの光の強度を検出し、これに比例した第2の走査信号を発する第2の検出器を含む、請求項31記載の装置。

【請求項33】 上記電子的手段が、上記第1及び第2の走査信号を第1及び第2の基準信号と比較し、遭遇した欠陥の存在及びその型を決定する、請求項32記載の装置。

【請求項34】 上記第1の光軸と交わる自動焦点合わせに関わる光軸を定義する部分を備え、該自動焦点合わせに関わる光軸が検査基板試料表面から反射して入射してくる通過光束に非点収差変調効果をもたらすように配備され、且つ、上記非点収差変調された光線の形状を測定して自動焦点合わせを確認し、そしてそれをもって系が焦点外れの場合はその数値を定量的に決定し、この数値情報から焦点合致のための電気信号を発生せしめ、この電気信号を該電子制御系に入力することを特徴とする請求項33に記載の装置。

【請求項35】 該自動焦点合わせ装置の光軸を互いに直角となるように2本の枝に分岐し、一方の枝には1つの非点収差変調部を導入し、又他方の枝には他の1つの非点収差変調部を導入し、非点収差変調素子が変調効果をもたらすことにより、通過光が変調の結果として形状が変わることをうけて、各光束は各々画像形状検出器にて測定することにより該各光束が焦点合致状態にあるか否かを決め、この場合もし焦点が合っていないと認めた

5

ときは、その定量的数値及びその方向を決定し、この数値及び方向情報から焦点合致のための電気信号を発生せしめ、この電気信号を該電子制御系に入力することを特徴とする請求項34に記載の装置。

【請求項36】 上記電子的手段が、検査中の基板の表面上の所定の格子点に対応する上記走査信号の大きさを測定し、次に、この測定値を用いて、基板形状の表面寸法を決定する、請求項35記載の装置。

【請求項37】 上記ステージ手段が、空気軸受け手段によって分離されたステータとスライダとを含み、ニヤーマーターによって駆動されるX/Y空気軸受けステージであり、上記ステータが各スライダの空気軸受けを少なくとも2方向にプレロードするように形成されている、請求項36記載の装置。

【請求項38】 上記光検出手段が、上記レーザ手段を含む側と向き合う上記検査面の側の上記第1の光軸に沿って配置され、検査基板を通過する透過光を検出することの出来る透過光検出器を含み、上記光学手段が、更に、上記光束が通過する第2の光軸を規定する手段を含み、上記第2の光軸が上記検査基板とは交わらず、少なくともその一部分が上記第1の光軸と共通で、上記透過光検出器と交わり、これにより、上記光束と上記透過光との間の干渉比較が行われる、請求項1記載の装置。

【請求項39】 上記光学手段が、又、上記光束が通過する第3の光軸を規定し、その一部分が上記第1の光軸と共通であるごとくにする手段を含み、上記第2及び第3の光軸の光路長が実質的に等しく、従ってこれら2つの軸が実質的に同じ熱変化を経験し、又、上記第3の光軸が、これにより空間的にずれた光束を上記第3の軸に沿って、上記反射検出器に向けて空間的にずらし且つ反射させて、これを検査基板から上記第1の光軸に沿って反射する光と干渉比較を行うための傾いた鏡を含む、請求項38記載の装置。

【請求項40】 更に、上記第1及び第2の走査信号に応答し、上記電子的手段に入力するゲート信号を作り出すことの出来る回路手段を含み、これにより、検査基板の欠陥を、基板の表面から反射した光と検査基板を通過した光との間の位相誤差の関数とし示すことが出来る、請求項8記載の装置。

【請求項41】 上記回路手段が：上記第1の走査信号を基準信号と比較し、その間の位相差に比例するアナログ信号を作り出すアナログ位相検出器と；上記アナログ信号をデジタル信号に変換する手段と；及び、上記第2の走査信号によってゲート処理され、上記ゲート処理された信号を発するエンコード手段と；を含む、請求項40記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は電気光学的検査装置、特に、フォトマスクやレチクルなどの基板の欠陥を自動的

6

に検出する光学式基板検査装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 集積回路は、フォトマスク又はレチクルと光源とを用いて回路の像をシリコン・ウェハに投影する写真製版法により製造される。高い歩留りを得るには使用するマスクやレチクルに欠陥のないことが必要である。ところが、マスクやレチクルにはどうしても欠陥が生じてしまうので、マスクを使用する前に欠陥を発見して修理しなければならない。

10 【0003】 自動マスク検査システムが誕生してから15年以上になる。初期の自動マスク検査システムであるベル・テレホン・ラボラトリーズAMISシステム(John Bruning et al., "An Automated Mask Inspection System - AMIS", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-22, No. 7 July 1971, pp 487 - 495)

は、レーザでマスクを走査するものである。その後登場した自動マスク検査システムは、マスクにより投影された像をリニア・センサで検査するものである。このようなシステムは、例えば、「自動フォトマスク検査システム及び装置(Automatic Photomask Inspection System and Apparatus)」という名称の米国特許第4, 247, 203号に開示されている。この米国特許にはフォトマスクに形成される回路のパターン(以下ダイと呼ぶ)同士の比較検査、即ち、2つの隣接したダイ同士を比較してフォトマスクを検査することが教示されている。また、「レチクル検査システム(Reticle Inspection System)」という名称の米国特許第4, 926, 489号には、レチクルに形成されているダイとデータベースとの比較検査、即ち、レチクルに形成されているダイとこのダイを形成するためのデータベースとを比較してレチクルを検査することが教示されている。

30 【0004】 集積回路が複雑になるに連れて、検査法が益々重要になっている。微細な欠陥を発見できるように解像度を上げながら、より広範囲な領域を検査しなければならない。検査装置は1秒間に処理することのできる画素数が多くなるように高速で動作するものでなければならない。このような必要性から以下に列举する様々な技術が次々に開発され、それぞれが特許を取得している。1981年1月27日にはLevy et al. の「自動フォトマスク検査システム及び装置(Automatic Photomask Inspection System and Apparatus)」という名称の米国特許第4, 247, 203号が発行され、1986年4月1日にはLevy et al. の「欠陥検出の改良されたフォトマスク検査装置及び方法(Photomask Inspection Apparatus and Method with Improved Defect Detection)」という名称の米国特許第4, 579, 455号が発行され、1986年12月30日にはMark J. Wihlの「映像強調手段を有する自動フォトマスク検査システム(Automatic Photomask Inspection System Having Image Enhancement Means)」という名

50

7

称の米国特許第4,633,504号が発行され、1989年2月14日にはSpecht et al.の「改良型欠陥検出器及びアラインメント・サブシステムを有する自動フォトマスク及びレチクル検査法及び装置 (Automatic Photomask Inspection and Reticle Inspection Method and Apparatus Including Improved Defect Detector and Alignment Subsystem)」という名称の米国特許第4,805,123号が発行されている。この他に、ウエハの検査の分野にも幾つかの重要な先行技術がある。その一例としては、1987年2月17日に発行したSandland et al.の「自動ウエハ検査システムの電子制御 (Electronic Control of an Automatic Wafer Inspection System)」という名称の米国特許第4,644,172号を挙げることができる。

【0005】位相シフト型マスク技術が出現し、新しい検査技術が必要になり、検査技術は更に発展した。位相シフト型マスク技術により、転写できる線の幅が更に狭くなり、0.25ミクロン以下の幅の線も印刷可能になった。この技術はBurn J. Linの「光学マスク技術における位相シフト法その他の課題」、第10回マイクロリソグラフィ・シンポジウムの紀要、SPIE、光工学国際学会、第1496巻、54～79ページ (Burn J. Lin, "Phase-Shifting and Other Challenges in Optical Mask Technology", Proceedings of the 10th Annual Symposium on Microlithography, SPIE, - the International Society of Optical Engineering, Vol. 1496, pp 54 - 79) に記載されている。

【0006】以上に、光学マスクやレチクルの欠陥を自動検出するための従来の技術を列挙したが、いずれの技術も従前の照明法を用いており、線形に配置したセンサ群により像を捕らえているに過ぎない。ところで、従来の照明法やセンサを用いている限り、信号対雑音比に限界があるので、検査速度も自ずと制約を受けてしまう。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明の第1の課題は、透過光及び反射光の両者を用いて基板を検査する全く新しい自動基板検査装置を提供することである。

【0008】本発明の第2の課題は、基板の表面が基準の高さを越えていないかどうかを干渉原理を用いて光学的に判定して、基準の高さを越えていることを欠陥の指標として利用する自動基板検査装置を提供することである。

【0009】本発明の第3の課題は、欠陥の検出と線幅の測定に同一の光学系を用いた自動基板検査装置を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の好ましい実施態様は、XYステージ(12)と、光学系(16)と、電子制御解析表示系とを備えており、XYステージ(12)により検査対象である基板(14)がXY平面上を

8

蛇行移動し、光学系(16)はレーザ(30)と、透過光検出器(34)と、反射光検出器(36)と、レーザ、基板、両検出器の間に基準光の光路及び照射光の光路を形成する光学素子群と、反射光及び基準光の両光線で基板を往復走査する音響光学的光線スキャナ(40、42)とを備えており、電子制御解析表示系はXYステージ及び光学系の動作を制御し、両検出器の出力信号の解析及び記憶をする。この装置は、ダイ同士を比較するモード及びダイとデータベースとを比較するモードのいずれかで動作する。

【0011】

【作用及び効果】本発明では光源にレーザを使用しているので、非常に明るい光でマスクを走査することができる。更に、機械的機構ではなく電気光学的偏向法を採用している点でBruning et al.が開示しているAMISシステムとは相違している。電気光学的偏向法は機械的機構よりも早く、融通が利く。しかしながら、従来の電気光学的偏向法ではまだ速度が不十分なので、これを基板検査装置に用いても利点はない。本発明では、レーザ光線による記録に関して1974年12月3日にJason H. Evelethに付与された「自己集束音響光学スキャナを備えた高解像度レーザ光線記録装置」という名称の米国特許第3,851,951号に記載されている偏向装置を用いて高速にしている。

【0012】更に、本発明では僅かに2自由度しかないステージを使用している。先行技術では回転可能にするためにかなりの費用を掛けて複雑な構成にしているが、本発明では有効走査方向の制御はステージを2本の軸に沿って同時に駆動するだけで良い。

【0013】この他に、本発明では透過光と反射光の両者を用いて欠陥を同時に検出している。このために情報量が増えるので欠陥の特徴を正確に捕らえることができるようになり、欠陥の自動分類が可能になる。従って、この要件は重要である。

【0014】また、本発明では位相シフト型マスク (phase shift mask) の検査も可能である。1990年代には位相シフト型マスク技術により0.10ミクロンの線幅を達成することができると期待されている。本発明では、検査システムの通常の走査速度でマスク領域の総ての標本抽出点において位相シフトをもたらすための移相材料を測定することができる。

【0015】更に、本発明ではマスクの線幅をも測定することができる。欠陥の検査と線幅の測定にはそれぞれ別々の装置を用いなければならないのが現状であるから、この機能は重要である。一台の装置で欠陥の検査と線幅の測定ができるので、時間を節約することができるので、汚染の予防にもなる。

【0016】本発明は新規な自動焦点法 (autofocusing method) を採用している。従来のマスク検査システム

10

20

30

40

50

に採用されている自動焦点機構は、マスクのパターンの影響を受けてしまうが、本発明の自動焦点機構はマスクのパターンの影響を受けず、マスクのパターンとは独立して機能する。

【0017】ステージ用空気軸受けの2軸予荷重方式も優れた刷新である。この角度荷重法により優れた剛性が得られる。

【0018】光の強度の変化の補正法も新規である。従来技術では、照明が空間的に均一であるかどうかは検査の前に判定されるが、検査中に均一性が変化したり、検査中に強度の絶対水準が変化したりしてもこれを補正することはできない。ところが本発明では、強度を監視して実時間で直ちに強度補正を行うので、主光源が経時的に変化しても検査精度は一切影響を受けない。

【0019】本発明ではマスクを介してウエハに印刷（露光）をする際に使用する波長と実質的に同じ波長の光を使用してマスクの検査をすることができる。技術の進歩により、益々短い波長の光を印刷に用いることができるようになるが、欠陥の現れ方は照明光の波長に従って変化するので、検査と印刷の両者に同一波長の光源を使用することが望ましい。

【0020】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の好ましい実施例を詳述する。

【0021】図1は本発明に基づく光学式自動基板検査装置10の概略図である。この装置は、レチクルや、フォトマスクや、半導体ウエハや、位相シフト型マスクなどの基板を自動的に検査するものである。

【0022】この自動基板検査装置は透過光を用いた検査、反射光を用いた検査、反射光及び透過光の両者を同時に用いた併用検査、位相のずれ（移相）の測定などのように何種類かの検査や測定を実施することができる。透過光による検査の場合には、フォトマスクなどの基板に光を当てて、基板を透過した光の量を検出する。反射光による検査の場合には、検査対象である基板の表面からの反射光を測定する。移相検査の場合には、マスク上のそれぞれの標本抽出点で反射した2本の干渉性の光線の間の位相のずれ量（移相量）を検出する一方で、透過光による検査も同時に実施する。移相量は2本の光線を反射している表面の相対的な高さの差に比例して変化する。以下に詳述するように、透過光信号は移相信号の特定化に使用される。以上に述べた欠陥の検出の他に、この自動基板検査装置は線幅を測定することもできる。

【0023】欠陥を検出する際にはどのような場合にも2種類の画像同士の比較が行われる。ダイとダイとの比較検査モードでは、基板内で同一の特徴を有する両領域（ダイ）同士を比較して、不一致が見つかる欠陥として印が付けられる。ダイとデータベースとの比較検査モードでは、検査対象であるダイとCADS（コンピュータ支援データベース・システム）データベースから得ら

れる対応する画像情報とを比較することにより欠陥が検出される。CADSデータベースは米国特許第4,926,489号（1990年5月15日に発行したDanielson et al.の「レチクル検査システム（Reticle Inspection System）」）に説明されているように画像フォーマットに変換される。

【0024】図1に概略を示したように、光学式自動基板検査装置10は検査対象である基板14を支持するステージ12と、光学式サブシステム16と、データベース・アダプタ18と、電子式サブシステム20と、表示装置22と、制御用コンピュータ24と、キーボード26とを備えている。

【0025】ステージ

ステージ12の好ましい実施例は後に詳述するが、ステージ12は電子式サブシステム20により制御される精密駆動装置であり、検査対象である基板14の表面全体を隈無く検査することができるように、光学式サブシステム16の光学軸に対して基板14を同一平面内で蛇行移動させることができるものである点をここでは指摘するに止めておく。

【0026】光学式サブシステム

図2は光学式サブシステム16をより詳しく示したブロック図である。光学式サブシステム16は本質的にレーザ走査装置であり、光源30と、干渉性の光である光線32を僅かな角度で前後に偏向させる光学素子とを備えている。後に詳述するように、光線は光学系により検査対象である基板又はフォトマスク14上をY軸に平行に掃引される。光線がこのように掃引されている間に、検査対象である基板又はフォトマスク14を支持しているステージ12はX軸に沿って一方の方向に移動し、一端に至るとY軸に沿って一方の方向にずれて、X軸に沿って逆戻りし、他端に至ると再びY軸に沿って同一方向にずれて、X軸に沿って再び一方の方向に移動する。ステージ12はこの一連の動作を繰り返す。このようにして、光線32は図3及び図4に示すように同一基板上の複数の領域33、35、37（フォトマスクの場合には個々のダイ）を横切る蛇行路31に沿って掃引されるので、検査対象である基板又はマスク14は全表面領域が途切れの無い一続きの掃引帯39毎にレーザ光線により走査される。検査対象が透明又は部分的に透明の基板である場合には、映像の検出は透過光検出器34によりなされる。検査対象が全反射又は部分的に反射する基板である場合には、基板からの反射光は反射光検出器36により検出される。後に詳述するように、位相シフト型マスクの検査は前記の両検出器を同時に使用して実施される。

【0027】光学式自動基板検査装置10の光源30はレーザであり、例えば、イオン・レーザ・テクノロジー（Ion Laser Technology）社製のモデル5490A5L-00C-115を光源として使用することができる。光源30から照

11

射された光線32は、空間周波数フィルタ38を透過し、音響光学プリスキナ40及び音響光学スキナ42の2個の音響光学素子の組み合わせにより偏向される。両素子は米国特許第3,851,951号(1974年12月3日に発行、Jason H. Eveleth, "HighResolution Laser Beam Recorder with Self-focusing Acousto-optic Scanner")に記載されている方法と同じ方法で光線をY軸方向に偏向し、X軸方向に集束させる。偏向系には光線拡大器44と四分の一波長板46も含まれている。

【0028】音響光学スキナ42から出て来た光線はY軸方向には集束しているが、X軸方向には平行である。円筒状レンズ50は光線をX軸方向に集束させる。このレンズのX及びYの両軸の焦点面は視野絞り52上に位置している。光線は次に四分の一波長板54とリレー・レンズ56とを透過する。

【0029】その後光線は鏡58により反射される。鏡58の唯一の機能は、光学路を変更させることである。光路を変更した光線は、ビーム・スプリッタ60に入射し、ここで光路62と光路64とに分岐される。光路64は位相測定モードの時にのみ使用され、その他の時にはシャッタ66により遮蔽されている。

【0030】光路62に沿って進む光線は振動鏡65により反射される。振動鏡65は検査動作の際には固定されていて、位置決めや観察の際に画像表示装置(図2には示されていない)に映像を表示するために使用される。ドーフェのプリズム67を用いて走査方向を光軸の周囲で回転させている。プリズム67の出力は、回転タレット台72に取り付けられている拡大鏡68及び70のいずれか一方に供給される。両拡大鏡は検査対象である基板又はフォトマスク14上の走査スポットの大きさを変化させて、検出可能な欠陥の最小の大きさを選択するために設けられている。倍率を変更すると走査長も変化する。掃引帯39の線幅が変化し、最終的には検査速度が変化する。(拡大鏡は2台しか図示されていないが、拡大鏡を何台使用しても構わないので、スポット・サイズを様々に変更することができる。)拡大鏡を出た光線は鏡74で反射されて、ビーム・スプリッタ76に入射し、ここで再び分割される。ビーム・スプリッタ76により反射された光線は検出器80に入射される。検出器80は光線の強度変化を監視する。ビーム・スプリッタ76を透過した光線は対物レンズ82により基板14上に集束する。基板14を透過した光は集光レンズ84により集光され、集束レンズ86により透過光検出器34上に集束される。

【0031】オートフォーカス・サブシステム  
オートフォーカス(自動焦点)機能は光線が幾つかのアナモルフィック素子(anamorphic elements)を透過した後の光線の断面形状の監視に基づいて実施される。オートフォーカスを実施する際の基本原理は、円筒形レン

12

ズでは非点収差が生じるということである。非点収差が生じた場合、集束光線は先ず一方における焦点を通過し、次にこの一方に対して垂直の方向における焦点を通過する。光線が光路に沿って両焦点の間を進む場合、光線の横断面は一方が長い長円の形状から、円形状になり、やがて一方に対して垂直な方向に長い長円の形状になる。本発明では基板に照射される光の最適な焦点は、基板14からの反射光の横断面を監視することにより検出される。光線の横断面の形状はシリコン四分割型複合ダイオード90、92により監視される。

【0032】後に詳細に説明するように、実際のオートフォーカス・システムは非点収差の方向が相互に異なる2筋の光路から成っている。一方の光路では円筒状レンズはX軸方向から見た場合に曲率を有していない。他方の光路では円筒状レンズはY軸方向から見た場合に曲率を有していない。

【0033】オートフォーカス用光線93は、ビーム・スプリッタ60により、反射光検出光路に沿って進む反射光線95から分離されて、更にビーム・スプリッタ94により分離されて、別のビーム・スプリッタ96に向かって進む。ビーム・スプリッタ96によりオートフォーカス用光線93は2つに分割されて、それぞれが光路98及び100に沿って進む。図2ではX座標は用紙に垂直なので、円筒状レンズ102は湾曲しているが、全く同じ素子で別の光路にある円筒状レンズ104は平行四辺形素子として示されている。検出器である四分割型複合ダイオード90に通じる光路には、球状レンズ106も設けられている。全く同一の検出器である両四分割複合ダイオード90、92は、それぞれに対応する光線の横断面を検出する。基板の表面の位置が変化すると、即ち、基板の厚さが変化すると、両四分割複合ダイオード90、92により監視されるそれぞれの光線の横断面が図5及び図6にそれぞれ参照符号108、110及び参照符号108、112として示すようにX軸方向に変化する。いずれのフォトダイオードにおいても照射領域が垂直方向(Y軸方向)に変化することはないことに注意されたい。検査対象が合焦点位置にあると、両フォトダイオードは共に円形の光線108により照射される。検査対象が合焦点位置からずれると、一方のフォトダイオードに照射される光線は照射領域の水平方向の径が縮み(図5の参照符号110)、他方のフォトダイオードに照射している光線は照射領域の水平方向の径が増大する(図6の参照符号112)。この変化により両直角位相フォトダイオードの電気出力が変化する。従って、A1を直角位相フォトダイオード90のX軸に沿った四分円から得られる信号、A2を直角位相フォトダイオード92のX軸に沿った四分円から得られる信号、B1を直角位相フォトダイオード90のY軸に沿った四分円から得られる信号、B2を直角位相フォトダイオード92のY軸に沿った四分円から得られる信号とすると、焦点補

正信号 Fc は次の式で表される。

【0034】

$$\frac{(A_1 - B_1) - (A_2 - B_2)}{(A_1 + B_1) + (A_2 + B_2)}$$

#### 透過光検査モード

透過検査モードは、透明な領域と不透明な領域とを通常有している光学マスクなどの基板の欠陥検査に用いられる。レーザ光線はマスクを走査する際に、透明な部分を透過し、集光レンズ 84 により集光され、集束レンズ 86 により集束されて、マスク 14 の背後に位置している透過光検出器 34 により検出され、測定される。

#### 【0035】反射光検査モード

反射光検査モードは、現像されたフォトレジスト特性の形態として画像情報を有している不透明な基板の欠陥検査に用いられる。基板からの反射光は先に述べた照明用の光路を戻すが、ビーム・スプリッタ 60 により進行方向が変えられて反射光検出器 36 に向かって進み、集光レンズ 35 により反射光検出器 36 上に集束される。先に述べたように、反射光の検査時にはシャッタ 66 は閉じている。

【0036】反射光検査モードは不透明の基板の表面の汚れの検出にも使用することができる。

#### 【0037】移相材料の厚さ測定モード

位相のずれの測定は基板が透明である部分についてのみ実施される。即ち、位相のずれの測定は基板に不透明な部分がない場合にのみ実施される。不透明の部分は透過光検出器 34 により検出され、不透明の部分を除いた領域で位相のずれが測定される。位相のずれを測定している間シャッタ 66 は開いており、ビーム・スプリッタ 60 により反射されたレーザ光線が、拡大鏡 114 を構成しているリレー・レンズ 110 及び 112、並びに開口数の低い対物レンズ 116 を透過して、傾斜した鏡 118 に入射する。鏡 118 により反射したレーザ光線は同じ光路を逆戻りして、ビーム・スプリッタ 60、ビーム・スプリッタ 94、集光レンズ 35 を次々に透過して反射光検出器 36 に入射する。これと同時に、反射光検出器 36 には最初にビーム・スプリッタ 60 を透過し、次に基板上のある点で反射して戻って、ビーム・スプリッタ 60 により反射された光も入射する。これらの両入射光線は相互に干渉し合うので、反射光検出器 36 により検出される光の強度は両光路 62 及び 64 の相対的な長さの関数として変化する。後に詳述するように、このデータは電子式サブシステムにより解釈されて、基板の所定の点を覆っている移相材料の厚さの変化の判定が行われる。

#### 【0038】様々な種類の検出器による同時検査

透過光の検出、反射光の検出、位相のずれの測定は、それぞれ単独にしかできないということはないことに注意されたい。透過光の検出と反射光の検出とを同時に行え

\* 【数 1】

…(1)

ば、透過光検出器により不透明な欠陥を検出することができるだけでなく、反射光検出器により欠陥の種類を判定することができる。例えば、欠陥がクロムによる汚れ (chrome dot) や粒子である場合には、いずれも不透明なので透過光検出器からは暗部を示す出力が得られる。ところで、クロムによる汚れは反射するので、反射光検出器からは強度の反射光を示す出力が得られるが、粒子の場合には余り反射しないので、反射光検出器からは強度の反射光を示す出力は得られない。このように反射光及び透過光の両者を検出することにより、粒子による欠陥とクロムによる欠陥とを識別することができる。一般に、反射光及び透過光の強度の比率を調べることで、欠陥の種類を判定することができる。この情報は欠陥の自動分類に用いることができる。

【0039】同様に、透過光の検出と位相のずれの測定とを同時に実施することもできる。位相シフト型マスクでは移相材料で覆われている領域内の不透明な欠陥を検出することができ、不透明な材料のないことが透過光検出器 34 により検出されると、位相のずれの測定が停止される。

#### 【0040】制御用コンピュータ

制御用コンピュータ 24 は操作員操作卓 (operator console) 及び主幹制御器 (master controller) として機能するもので、カリフォルニア州のサン・マイクロシステムズ社 (Sun Microsystems) 製のスパーク・コンピュータ (SPARC computer) のような装置である。操作員や使用者の設備などとのシステム・インターフェースは、制御用コンピュータを通じて行われる。操作員により割り当てられた仕事を効率よく処理するように、総ての他のサブシステムへコマンドを伝送したり、総ての他のサブシステムの状態を監視したりしている。

#### 【0041】電子式サブシステム

電子式サブシステム 20 は、制御用コンピュータ 24 からのコマンドを解釈して実行する。即ち、電子式サブシステム 20 は、透過光検出器 34 及び反射光検出器 36 からの両入力をデジタル化し、入射光の強度の変化に応じて読み込み値を補正し、映像内の欠陥を検出し、欠陥データを制御用コンピュータ 24 に転送し、ステージ 12 の走査に用いられる干渉計の出力を蓄積し、ステージ・リニア・モータを駆動させる。

【0042】位相のずれ及び線幅の両測定情報を除けば、制御用コンピュータ 24 及び電子式サブシステム 20 の機能は総てが米国特許第 4, 247, 203 号、米国特許第 4, 579, 455 号、米国特許第 4, 633, 504 号、米国特許第 4, 805, 123 号、米国



15

特許第4, 926, 489号、米国特許第4, 644, 172号に記載されている。ここに列挙した米国特許はいずれも同じ機能を様々な方法で実行しているものであり、どの方法を採用するかはシステムを開発する際にどのような集積回路装置を用いるかに基づいて決まる。本発明ではどの方法を採用しても構わない。

#### 【0043】ステージ

ステージ12は空気軸受けを備えたX-Yステージであり、XYの各軸に設けられたリニア・モータにより駆動される。ステージ12はXYの各軸に沿った位置が、テレトラック・コーポレーション (Teletrac Corporation) 社製のモデルTIPS Vのような干渉計 (図示せず) により監視されている。

【0044】ステージ12の詳細を図7に示す。同図では内部の主要な要素が見えるように前方のレールを除去して図示してある。ステージ12は2自由度を有している。回転はしない。図7はここに説明している自動基板検査装置用の例を示したものであるが、マイクロ・リソグラフィや精密加工装置などにも本発明に基づくステージを用いることができる。

【0045】Y軸方向移動台120はフレーム122を有していて、X軸方向移動台124を支えている。両移動台の動きはリニア・モータ及び空気軸受けにより規制されている。各リニア・モータのステータとスライダとの間の引力によりリニア・モータの線形軸受けには与圧が掛けられている。

【0046】Y軸方向移動台120を構成しているフレーム122にはX軸方向移動台124の動きを規制する案内面126及び127が設けられている。両案内面は2本の側方レール128により連結されている。(128と同じものである前方のレールは図示されていない。) X軸リニア・モータのステータ129はX軸案内面126の内部に埋め込まれていて、空気軸受けハウジング131に取り付けられているX軸スライダ130を引き付けていて、5個のX軸空気軸受けの内132、133、134、135の内の4個に与圧を掛けている。別個の磁石136と強磁性与圧ストリップ137とにより空気軸受け138に与圧が掛けられている。各軸受けには回り継手が設けられているので、軸受け自体が回転できるだけでなく、軸受けパッドも2軸を中心に回転することができる。従って、空気軸受けはパッド面に垂直な方向の移動が阻止されているだけである。

【0047】X軸方向移動台124は検査対象14を保持し、5個の空気軸受けにより動きが制限されている。空気軸受け132、135はX軸方向の動きの縦揺れ及びZ軸方向の垂直な並進を防止し、空気軸受け133及び134はX軸方向の動きの偏揺れ及びY軸方向の水平な並進を防止する。ハウジング139に収容されている空気軸受け138は、X軸移動台の横揺れを防止し、X軸移動台のZ軸方向の垂直な並進を規制している。検査

16

対象保持アセンブリ140は、X軸移動台の軽量の複合フレーム141に取り付けられている。

【0048】ステージ12は新規な特徴を幾つか備えている。新規な特徴の一つはリニア・モータを用いてステージ12を両方向に与圧して、揺れを防止していることである。これは断面が三角形のX軸スライダ用鉄心130の配置とステータ131の角位置とにより、磁石の引力が4個の空気軸受け132、133、134、135の総てにある角度で作用することにより達成される。

10 【0049】別の特徴はリニア・モータのステータ129がX軸案内面126の両壁に対してある角度をなすようにX軸案内面126に埋め込まれていることである。

20 【0050】また、検査対象保持アセンブリ140のフレームにカリフォルニア州 (California) のヘクスセル社 (Hexcell) 製のブルー・シール (Blue Seal) のようなハニカム材料を用いたことである。ハニカム材料の採用によりステージは堅固なままでその質量を減少させることができる。図8は図7の線8-8に沿った断面図であり、ハニカム構造を示している。蜂の巣構造のインサート142が表皮143に挟まれている。底板144と上板145が表皮143に接続されていて、インサート142を取り囲む箱構造が形成されている。このハニカム構造をデュオセル (Duocell) のような軽量の複合材料に置き換えても構わない。

30 【0051】複合物に個体片146を取り付ける方法も新規である。個体片146は、図9に示すように、複合壁の一方の表皮を貫通して設けられ、壁の貫通部分の周囲、個体片と対向表皮の内側との間、及び個体片と反対側の表皮及び板144との間に形成された継手147により上板か底板に取り付けられている。

#### 【0052】実施例の動作 アラインメント

自動検査を実行する前に、操作員はマスクを適切な向きに配置して、「検査領域 (care area)」をコンピュータに定義しなければならない。図3には、検査対象であるマスク又はレチクル14に形成されている複数のダイ33、35、37を検査するための蛇行路31の望ましい向きが示されている。検査中に、ステージ12が蛇行路31に従って蛇行移動し、レーザ光線はマスクのY軸に平行に偏向される。ステージ12がX軸方向に移動するので、レーザ光線のY軸方向のこの偏向により生じる偏向幅に対応した幅の掃引帯39が掃引の軌跡として生じる。通常マスク14の軸はステージの駆動軸に平行ではないので、ステージをX軸方向及びY軸方向に同時に駆動しなければならない。そのためには先ずステージの両軸方向の移動速度の比率を定義しておかなければならない。そこで、操作員はある一つのダイのX座標上の識別できる2点を選択し、表示装置22の映像を観察しながら、両選択点の一方から他方までステージを移動させる。この時自動基板検査装置は干渉計 (図示せず) で

17

両駆動軸に沿ったステージの移動距離を測定して、両点の位置を識別する。この測定によりマスクのX軸及びY軸に対するステージの両駆動軸の方向余弦が得られる。この時、ドーフェのプリズム66（図2）が回転してレーザー光線の偏向方向がステージのX軸方向の移動に垂直になるように設定される。次に、操作員はダイスの検査領域44を指定する（図3）。

#### 【0053】移相測定のための較正

移相測定モードでは、レーザー・スポットがマスクの面に平行で平らな透過面上をY軸方向に走査されると、図1 \*10

$$I = A \sin [(2\pi y/W) - D] + I_0 \quad \dots (2)$$

上の式において、A、W、D、 $I_0$ の値は初期化の一部である移相測定のための較正中に総て決まる。レーザーがマスクの平坦で均一な透過面を走査しているときには、各画素の強度はデジタル化されて、コンピュータに記録される。従って、 $I_0$ は全サイクルにわたる強度の平均 ※

$$A = (I_{\max} - I_0) / 2$$

$I_0$ 及びAはいずれも透明な領域と移相材料で覆われた領域とでは相違するので、両領域のそれぞれについて決定しなければならない。量Dは移相材料の厚さの線形関数なので、この関係は様々な厚さの移相材料の公知のサンプルの較正により決定することができ、検査装置の寸法が一定である限り、一定である。

#### 【0056】検査処理

レチクルの自動検査は通常は検査領域の左上の隅から開始されて、蛇行路31に沿って進む。ステージがゆっくりとX軸方向に進む間に、レーザー光線はY軸方向に素早く前後に掃引される。このようにして、レーザー光線の掃引幅に対応した幅の掃引帯39の軌跡が生じ、この軌跡に沿った走査が行われ、検出器のデジタル出力が電子式サブシステム20に記憶される。掃引帯39が第2のダイ35の検査領域の左の境界に到達すると、ダイ33から得られ電子式サブシステム20に記憶されている映像データが、ダイ35から得られたデータと比較される。両者にかなりの相違がある場合には、欠陥と判断される。同様に、ダイ37からのデータもダイ35から得られるデータと比較される。

【0057】走査がダイ37の検査領域の右側の境界まで来ると、ステージが掃引帯39の幅よりも僅かに少ない量だけY軸方向に移動し、X軸方向に沿って逆戻りする。このようにしてダイの検査領域が蛇行路に沿って走査される。

【0058】ダイが一個しか設けられていないレチクルの場合に通常実施されるダイとデータ・ベースとの比較検査は、データベース・アダプタ18により生成されるシミュレーション像とダイとを比較するというを除けば、ダイとダイとの比較検査に類似している。図3にダイとデータベースとの比較検査用蛇行路31'を示す。

18

\*1に曲線200で示すように強度が正弦曲線を描いて変化する。その理由は以下の説明から明らかになる。いま、強度をI、原点から問題の画素までの距離をy、鏡118の傾斜角の関数である定数をW、移相材料の厚さにより通過距離が変化するために生じる位相のずれ（移相）をD、強度の半振幅をA、光学素子の迷光による強度の片寄り204を $I_0$ とすると、強度Iは次の式で表される。

【0054】

【数2】

※値であり、Aは次式から得られ、値Wは正弦の周期である。

【0055】

【数3】

... (3)

#### 【0059】再検査

20 欠陥の自動検査の完了後に、操作員はコンピュータ24を操作して、発見された欠陥領域に戻るようにステージ12を移動させ、そこにステージ12を固定して、個々の欠陥を再検査する。両音響光学スキャナ40、42を用いてY軸方向に走査し、振動鏡65を用いてX軸方向に走査して、デジタル化された映像を表示装置22に表示する。この再検査ではどの検出器の出力を用いても良いし、2個以上の検出器の出力の組み合わせを用いても良い。或いは、異なる検出器の出力を表示手段にスーパーインポーズ（重畳）して、それぞれを別個の色で表示しても良い。

#### 【0060】移相材料の厚さの測定

図10に位相シフト型マスクの断面の一例を示す。ここに示す例は特定のマスクに関するものであるが、どのようなマスクも移相材料の厚さを制御しなければならないので、以下に述べる技術はあらゆる位相シフト型マスクに適用することができる。

40 【0061】基板160は表面に不透明部164が堆積している石英である。不透明部はクロムの薄い層である。移相部161、162は透明な材料で形成されていて、クロムの不透明部164の一部及びこの不透明部164に挟まれている透明な領域の幾つか181、183を覆っている。即ち、この図では移相材料は透明な領域181、183を覆っているが、透明な領域180、184を覆ってはいない。移相部162の上面173は石英基板の上面174よりも高いので、石英基板の上面174と同一で移相材料により覆われていない透明な領域180の標本抽出点に対して位相が180度ずれる。

50 【0062】位相シフト型マスクの欠陥は幾つかの要因により生じる。透明な領域ではクロムが余分に形成されていたり、ほこりが付着していたりすることなどにより

19

欠陥が生じるし、不透明部164のクロムがなかったりして欠陥が生じることもある。このような欠陥は透過光検出器34(図2)により検出される。この検出技術は先に述べた従来技術に属する。本発明は移相部である層161又は162の欠陥をも検出することができる。この欠陥には2種類ある。一つは移相部の層の厚さが急に変わる欠陥であり、今一つは位相部の厚さが一定であるが所望の厚さではない場合や、所望の厚さから徐々にずれていくような場合の欠陥である。前者の種類の欠陥は、例えば、層161のくぼみ168がこれに該当し、透過光検出器34で検出することができる。即ち、くぼみ168のような欠陥があるとレーザ光が散乱してその部分だけ移相材料を透過しなくなるので、透過光による映像に黒い点が生じる。移相部161に示すように移相部の層の厚さが不適切であるために緩やかな傾斜面172が生じている場合の欠陥は、以下に述べる干渉計により検出される。

【0063】移相部162の上面173のようにマスク面に平行で完全に平らな好ましい面は、光路長Lでマスクが走査されるに連れて、鏡118の傾斜により基準光線の波面が基板の面に平行ではなくなるので、干渉模様を発生させる。(位相の変化の方向が曖昧になることを防止するために、鏡118の傾斜は位相部161のような表面の最大傾斜よりも大きくする必要がある。)移相部162の上面173のような場合の検出器の出力は、図11に示すような正弦波である。上面173と平行であるが光路長L+Dに位置する平面である透明な領域180(図10参照)は、同じ周波数で曲線200に対して位相がDだけずれている正弦波を生成する。このDだけ位相のずれている第2の正弦波を波形202として図11に示す。

【0064】マスクがY軸方向に走査されると、透過光検出器34は個々の画素が完全に透明であるかどうかを判定する。完全に透明な画素のみで反射光の強度が測定されてデジタル化される。これは図10の下側に表示されている。同図には透過光検出器34の出力により不透明部164が走査されているかどうか判定され、不透明部164が走査されているときは、反射光検出器36の出力が無視されることが示されている。電子式サブシステム20は、強度値、画素のY座標、較正中に決められたA、W、Iから式2のD及び画素の対応する光路長、即ち、石英基板の上面174より高い不透明部の上面の高さの変化を決定する。

【0065】正弦波には周期性があるので、360度の位相のずれに対応する光路長の変化を区別することはできないという曖昧さがある。しかしながら、360度の位相のずれを引き起こす急激な変化は、移相材料に隆起部(ridge)が含まれている場合にしか生じない。ところで、隆起部は回折を引き起こすので、透過モードでこれを検出することができる。従って、360度の位相の

20

ずれにより生じる曖昧さはこのようにして解決されるので、移相材料の厚さを総ての画素について継続して検査することができる。

【0066】実際には、マスク基板が像面に完全に平行であるということはないし、マスク基板が完全に平らであるということもない。しかしながら、両変化は緩やかであり、1/5縮小投影露光用の位相シフト型マスクでは半径4~5ミクロンまでの変化を考慮すれば良い。特に、互いに隣接した異なる領域間の相対的な位相のずれ、例えば、符号180、162、184で示す領域相互の間の相対的な位相のずれが重要である。これらの標本抽出点相互の離隔距離は4ミクロン未満である可能性が高い。

【0067】基板に欠陥のあることを示す程度の位相のずれがないかどうかを判定するために、移相材料162により覆われている透明画素毎に光路長が計算される

(図10)。この値が移相材料により覆われていない部分の隣接した2点、例えば、点180と184における光路長の平均と比較される。光路長の差が焼き付け波長(print wave length)での所定のしきい値を越えて許容値からずれている場合には、検査地点での移相材料の厚さに欠陥の印が付けられる。

【0068】自動基板検査装置は、同一領域内の異なる標本抽出点における光路長を相互に比較して同領域内の幾何学的特徴(模様)を検査する他に、パターンを生成する際に幾何学的特徴(模様)に過不足が生じたかどうかの検査も行う。ダイとダイとの比較検査モードでは、ダイ33(図3)の画素173、180、184の光路長(図10)がダイ35の対応する画素の光路長と比較される。この比較によりダイ33及び35に同一の欠陥が存在する場合を除いて無視された幾何学的特徴が明らかになる。同様に、ダイとデータベースとの比較検査モードでは、以前に指定された画素に関連した光路長とCADデータベース内の画素の情報とが比較される。

#### 【0069】交互移相測定法

以上に述べた測定技術ではデジタル技術を用いて、網の目のように配置された標本抽出点(grid points)での相対的な光路長を判定し、各標本抽出点での移相角を決定している。以下に説明するように、アナログ技術を用いて移相角を調べることもできる。

【0070】移相角の判定に必要なアナログ式補助回路機構を図12に示す。この補助回路機構は図1の装置の符号208のブロックに挿入されるものである。反射光検出器36により得られるアナログ信号がアナログ位相検出器210の一方の入力209に供給される。アナログ位相検出器210の他方の入力211には数字によって制御される発振器212から別の信号が供給される。両信号の位相差に比例した信号が8ビットのA/D変換器214によりデジタル・フォームに変換され、エンコーダ216及びデジタル低域フィルタ218を順に通過

21

する。デジタル低域フィルタ218及びエンコーダ216は、透過光検出器34から得られるゲート信号により制御される。デジタル低域フィルタ218は積分器として機能し、マスクの検査地点が透明であることが透過光検出器34により示されたときにのみ入力を受け付ける。エンコーダ216はA/D変換器214の8ビット出力信号を受け取る。その地点の画素が透明である場合には、エンコーダはデジタル信号の最上位の位置にゼロを挿入して、残りの信号を位相信号として電子式サブシステム20に転送する。透過光検出器34により画素が不透明であることが示された場合には、デジタル信号は総てが1として符号化され、11111111になる。この信号は電子式サブシステム20に対して位相信号が無効であり、無視すべきものであることを示す。

【0071】先に説明した回路機構は、マスクが完全に平らではないような場合のように緩やかに変化する現象により生じる位相の緩やかな変化に従う位相ロック・ループ(PLL)回路である。エンコーダ216の出力は、有効な場合には、局部領域の光路長の変化を示す。

【0072】交互移相光学システムの搭載  
場合によっては、相対的な光路長から移相を推論するよりも、実際の移相を直接に測定することが望ましいことがある。これは透過光干渉計を用いることにより達成される。透過光干渉計を使用し、反射及び透過の両干渉パターンの同時測定を行うことができ、透過光モード又は反射光モード又は両モードのいずれかによる測定の可能な変形例の概略を図13に示す。簡略化のために図2と同じ素子は省略してある。

【0073】この変形例を透過モードで動作させるには、図13の(a)に示すように、ビーム・スプリッタ60からの光を反射して、傾斜鏡232、対物レンズ234、別のビーム・スプリッタ236を通る光路231を介して透過光検出器34に到達する基準光線を生成するペリクル・ビーム・スプリッタ(pelicle beam splitter)230が付け加えられている。基準光線と光路240に沿って進み基板14を透過する撮像光線との干渉が透過光検出器34により検出される。

【0074】反射光モードでは、図13の(b)に示すように、基準光線がビーム・スプリッタ60により2つ\*

$$\tan G = \frac{S_2 - S_1}{[a^2 - (S_2 - S_1)^2]^{1/2}}$$

線の一方の側端の傾斜が分かると、反対側の側端も同様に位置している可能性が高く、先に計算した一方の側端に平行であるかどうかを確認することができる。線の両側端に沿った強度に基づいて、線幅が制御用コンピュータ24により計算される。

【0079】通常はここに述べた線の測定法は、厳密に言えば、表面領域が移相材料で覆われていない従来のマスクにのみ適用可能である。しかしながら、ここに述べ

22

\*に分かれ、一方が鏡118に向かって光路250上を進み、鏡118により反射されて反射光検出器36に入射し、他方が透過して基板14に向かって光路260上を進み、基板14で反射して光路260上を戻って、ビーム・スプリッタ60により反射されて撮像光として反射光検出器36に入射する。両入射光は反射光検出器36で干渉し合う。

【0075】この変形例でも反射透過の両モードによる位相の同時測定が可能である。

10 【0076】レーザ光線では反射及び透過の両干渉モードにおいて干渉性である距離が制限されているので、撮像光線の光路と基準光線の光路とは光路長がほぼ等しくなければならない。

【0077】線幅の測定

図14にマスクの小さな部分270の平面図を示す。領域272は透明であり、線274がこの領域を横切っている。領域274は、クロムまたは他の材料で形成されているときは不透明であり、マスクの石英基板が移相材料により覆われている領域であるときは透明である。自動基板検査装置は網の目状に相互に等間隔に配置されている標本抽出点276で強度を測定する。以下に詳述するように、強度の測定は線幅、即ち、線274を横断する距離278の測定に用いられる。各標本抽出点276における強度は、線の透過プロフィールを有する光学系の標本抽出点拡散関数の畳み込み(convolution)である。典型的な透過プロフィールは階段関数であるから、図14に示すような直線の場合には、特定の標本抽出点の強度はその標本抽出点から線274の側端までの垂直距離の関数である。従って、線274の近く特定の標本抽出点280又は282の強度は、その点から線までの垂直距離とみなすことができる。この距離は制御用コンピュータ24(図1)で簡単な参照動作をすることにより得られる。このように標本抽出点280、282の強度により距離 $S_1$ 及び $S_2$ が分かるので、標本抽出点280と標本抽出点282との距離を $a$ 、角度284を $G$ とすれば、線の側端の傾斜は次式により得られる。

【0078】

【数4】

…(4)

た技術は移相特性の測定にも使用することができる。なぜならば、移相材料に覆われていない領域と、移相材料に覆われている領域との境界では入射光線の回折が生じるので、この境界では光が透過しないからである。線幅は一方の側の境界の中心と反対側の境界の中心との距離である。

50 【0080】以上に好ましい実施例に基づいて本発明を説明したが、この技術分野で通常の技術を有する者であ

23

れば、本発明に種々様々な変更及び修正を加えることができることは言うまでもない。例えば、走査中にレーザ光線を掃引しないで済むように、実施例のような線形の検出器 34 を用いる替わりに、米国特許第 4, 579, 455 号に記載されているような時間遅延集積センサを用いることもできる。このように修正した場合、レーザを光源として用いると、回転研磨ガラスを併用することにより Y 軸方向の干渉性が破壊され、時間遅延集積センサにより X 軸方向の干渉性が破壊される。従って、特許請求の範囲にはそのような修正や変更も含まれるものと解釈すべきである。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に基づく自動基板検査装置の概略を示すブロック図。

【図 2】図 1 に示した光学式サブシステムをより詳しく示した概略図。

【図 3】ダイどうしを比較する検査モードに用いられる走査路を示す概略図。

【図 4】ダイとデータベースとを比較する検査モードに用いられる走査路を示す概略図。

【図 5】自動焦点合せシステムに用いられる光線の横断面を示す図。

【図 6】自動焦点合せシステムに用いられる光線の横断面 \*

24

\*面を示す図。

【図 7】XY ステージを一部断面して示す斜視図。

【図 8】XY ステージのフレームの内部構造を示す図 7 の線 8-8 に沿った断面図。

【図 9】XY ステージのフレームの別の部分の内部構造を示す図 7 の線 9-9 に沿った断面図。

【図 10】位相シフト型マスクを拡大して示す断面図及び反射光検出器の移相出力を示すグラフ。

【図 11】移相測定モードでマスクを走査すると正弦曲線を描いて変化する信号の強度を示すグラフ。

【図 12】移相材料の厚さの検出に用いられる移相同期ループ・サブシステムの概略を示すブロック図。

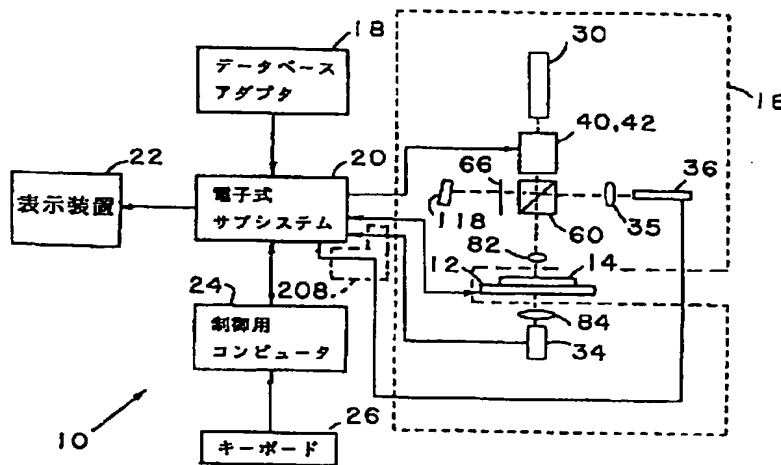
【図 13】透過光及び反射光の両者を用いたモードにおいて移相材料の厚さの測定に用いられる光学式サブシステムの動作を示す概略図。

【図 14】線幅の測定法を説明するための概略図。

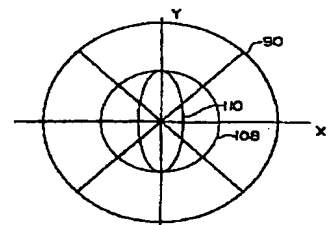
#### 【符号の説明】

18…データベース・アダプタ、20…電子式サブシステム、22…表示装置、24…制御用コンピュータ、26…キーボード、34…透過光検出器、36…反射光検出器、210…アナログ移相検出器、212…数字により制御される発振器、214…A/D 変換器、216…エンコーダ、218…デジタル低域フィルタ。

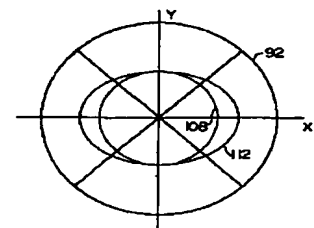
【図 1】



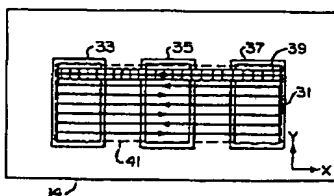
【図 5】



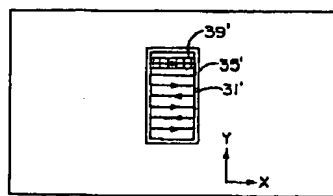
【図 6】



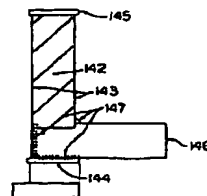
【図 3】



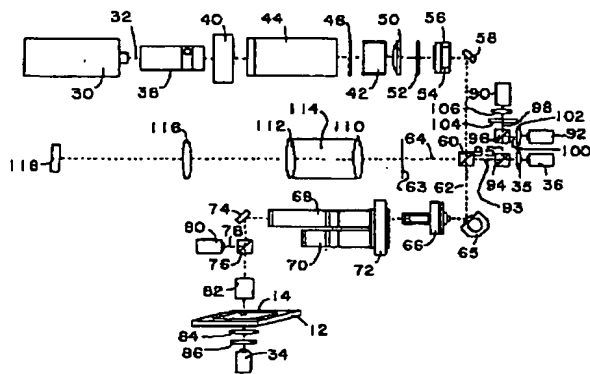
【図 4】



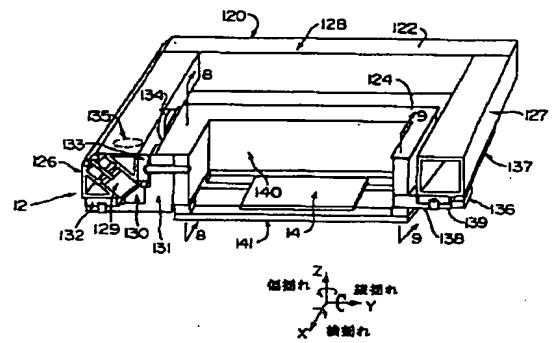
【図 9】



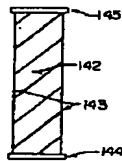
【図2】



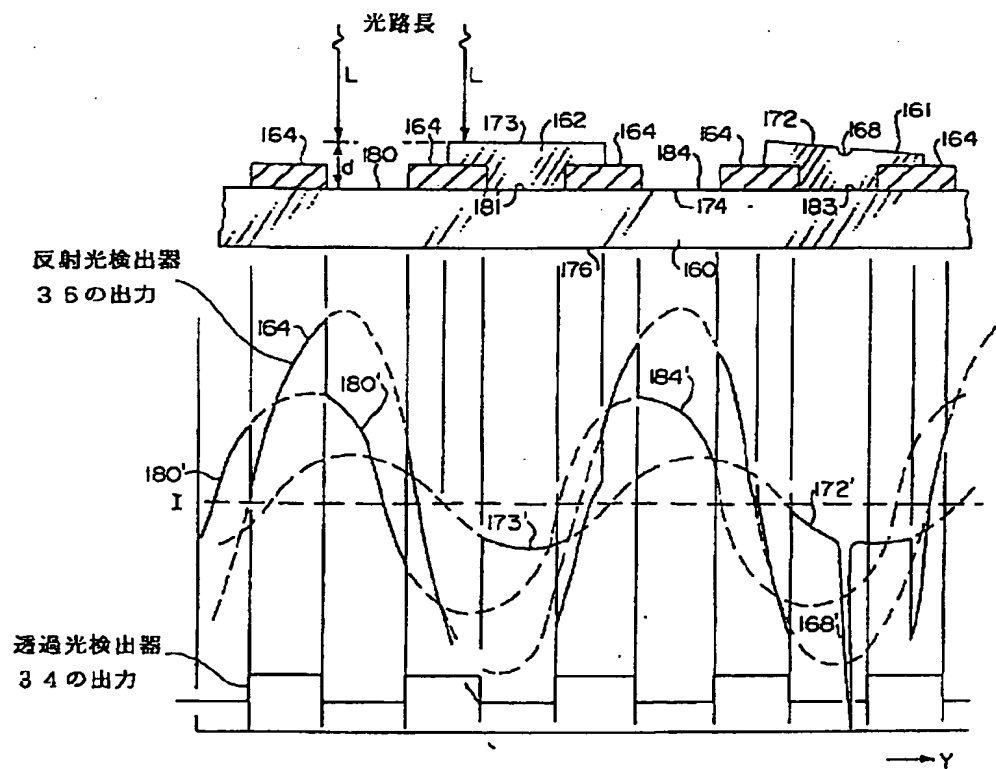
【図7】



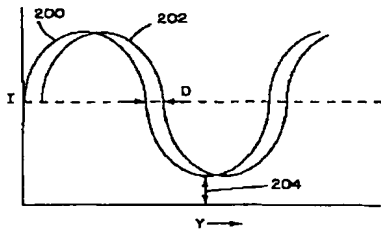
【図8】



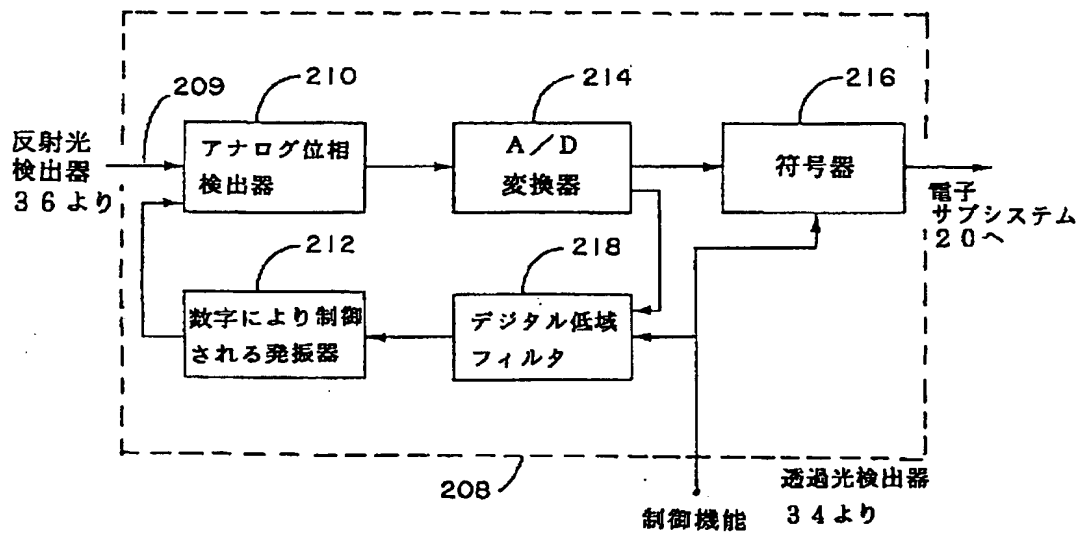
【図10】



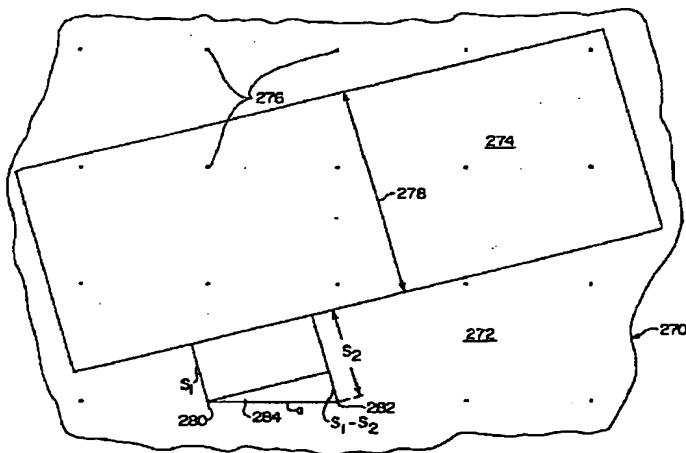
【図11】



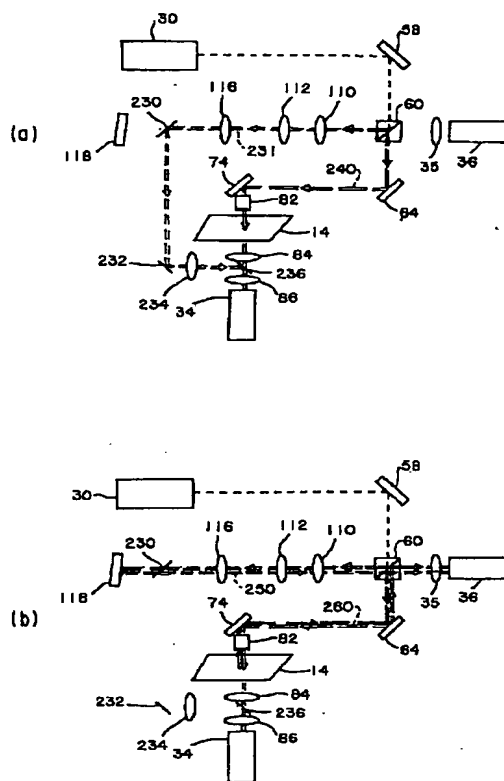
【図12】



【図14】



【図 13】



フロントページの続き

(72)発明者 マーク・ジョセフ・ウイル  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
95376、トレシー、ブリチェット・コー  
ト 34669

(72)発明者 タオ - イー・フウ  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
94539、フレモント、ウインドミル・ドラ  
イブ 46612

(72)発明者 マレック・ズイノー  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
95120、サン・ホセ、ブレット・ハート・  
ドライブ 7049

(72)発明者 ダモン・フロイド・クバンム  
アメリカ合衆国、ミシガン州 48105、ア  
ン・アーバー、アパートメント 313エー、  
フラー・ロード 2222

(72)発明者 マイケル・イー・フェイン  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州  
94040、マウンテン・ビュー、ライム・ツ  
リー・レーン 1909